

E. Kodon, T. Mayer & T. Nigl

### Hintergrund und Problemstellung

Die steigende Bedeutung von Elektro- und Elektronikaltgeräten (EAG) steht einer Recyclingquote von 20 % in der EU gegenüber. In der Designphase eines Produkts, in welcher bis zu 80 % der Umweltauswirkungen dieses entschieden werden, kommt dem Design-for-Recycling eine besondere Rolle zu. Eine Methode dieses zu fördern, ist die Ökomodulation von Lizenzbeiträgen durch die Sammel- und Verwertungssysteme anhand der Recyclingfähigkeit. Die Recyclingfähigkeit kann in eine theoretische, technische und reale Stufe eingeteilt werden. Derzeit existiert kein Modell zur Bewertung der realen Recyclingfähigkeit.

### Methodik

Die Erstellung des Berechnungsmodells erfolgte in drei Stufen. Existierende Modelle zur Berechnung der Recyclingfähigkeit wurden evaluiert um ein transparentes, quantitatives und vergleichbares Modell, welches alle Stufen der Recyclingfähigkeit sowie End-of-Life-Verfahren beider Entsorgung von EAG inkludieren kann, auszuwählen. Im zweiten Schritt fand eine Literaturrecherche zur Ermittlung der Einflussfaktoren auf die Recyclingfähigkeit von EAG Anwendung. Es erfolgte die Auswahl und Implementierung relevanter Faktoren in das entwickelte Modell. Das Modell wurde, durch Determinierung und Implementierung eines Referenzprozesses für die Entsorgung von EAG, auf Österreich spezifiziert.

### Modelle, Einflussfaktoren und Referenzprozess

Die Analyse bestehender Modelle eröffnet mehrere Möglichkeiten die Recyclingfähigkeit zu bewerten (u.a. nach dem Stoffpotential, ökologischen oder ökonomischen Parametern). Das entwickelte Modell ist rein massebasiert, quantitativ sowie vergleichbar und orientiert sich an jenem der EN 45555 sowie cyclos-HTP. Es setzt sich zum Ziel alle Stufen der Recyclingfähigkeit sowie End-of-Life-Verfahren bei der Entsorgung von EAG vollständig zu beschreiben.

Die ermittelten Einflussfaktoren sind in Abbildung 1 dargestellt und der entsprechenden Stufe der Recyclingfähigkeit zugeordnet.

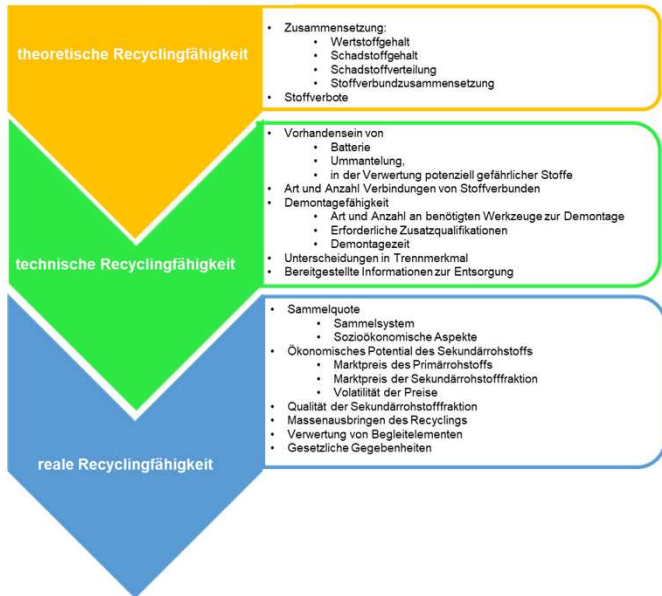


Abb. 1: Einflussfaktoren auf die theoretische, technische und reale Recyclingfähigkeit von EAG

Um das Modell auf Österreich zu spezifizieren wurde durch Analyse von vier Österreichischen Betrieben bzw. Anlagen zur Aufbereitung von EAG ein Referenzprozess erstellt. Dieser ist in Abbildung 2 dargestellt.

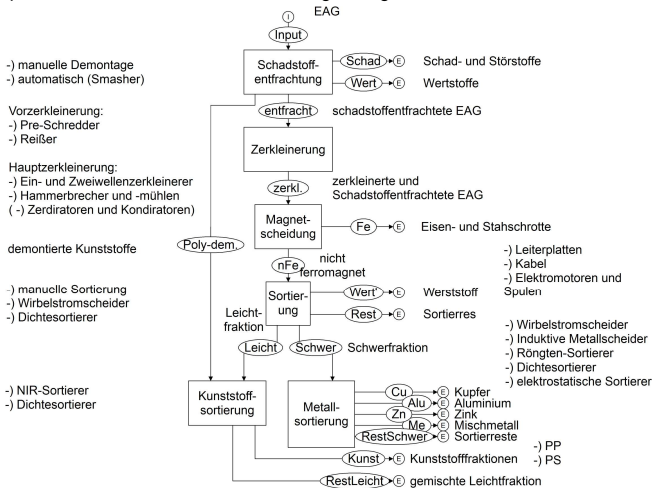


Abb. 2: Referenzprozess für die Aufbereitung von EAG in Österreich

### Berechnungsmodell

Das Berechnungsmodell ist dreistufig unterteilt und im Folgenden beschrieben: Die theoretische Recyclingfähigkeit berechnet das Stoffpotential, durch Berechnung der Masse an theoretisch verfügbaren Wertstoffen. Hierfür finden die Masse an Schadstoffen ( $m_i$ ), die Masse der mit Schadstoffen kontaminierten Komponenten ( $m_{-}$ ) sowie die Produktmasse ( $m_p$ ) Anwendung.

Die technische Recyclingfähigkeit modelliert einerseits die Aufschließbarkeit mittels einem Modell der statistischen Entropie, sowie die Sortierbarkeit. Der erste Term berücksichtigt die Massenanteile des Produkts im Ausgangszustand ( $w_{i,vor}$ ) sowie die Masse ( $m_{-}$ ) sowie die Zusammensetzung der zerkleinerten bzw. demontierten Bauteile nach dem Aufschluss ( $w_{i,nach}$ ). Die Sortierbarkeit wird anhand der Masse der Zielstoffe in einer Zielfraktion ( $m_{S,F}$ ), multipliziert mit dem stoff- und aggregatsspezifischen Masseausbringen in die Zielfraktion ( $r_{m,S,j}$ ) berechnet.

Die reale Recyclingfähigkeit lässt sich durch Multiplikation der Sammelrate ( $r_{sammlung}$ ) mit dem Masseausbringen des stofflichen Recyclings berechnen. Letzteres ist durch das Verhältnis der Masse der Stoffe in einer Fraktion ( $m_{S,F}$ ) multipliziert mit dem stoffspezifischen Ausbringen in Sekundärrohstoffe, während des stofflichen Recyclings, zur Masse der Zielstoffe der Fraktion zu berechnen. Eine Stufe ergibt sich durch Produktbildung mit den voranstehenden Stufen. Mathematisch ist die Berechnung in Abbildung 3 dargestellt.

$$\begin{aligned}
 & \text{Reale Recyclingfähigkeit} \\
 & \text{Technische Recyclingfähigkeit} \\
 & \text{Theoretische Recyclingfähigkeit} \\
 & 1 - \frac{\sum_{i=1}^{n_{Schad}} m_i + \sum_{T=1}^{n_{Komp\ kont}} m_T}{m_p} \\
 & \times \left( 1 - \frac{\frac{1}{m_p} \sum_{T=1}^{n_T} m_T * \sum_{S=1}^{n_S} w_{T,S,nach} * \log_2 w_{T,S,nach}}{\sum_{S=1}^{n_S} w_{S,vor} * \log_2 w_{S,vor}} * (1 - w_{max}) \right) \\
 & \times \left( \frac{\sum_{F=1}^{n_F} \sum_{S=1}^{n_S} m_{S,F} * \prod_{j=1}^{n_{Sortierer}} r_{m,S,j}}{\sum_{S=1}^{n_S} m_{S,F}} \right) \\
 & \times r_{sammlung} * \sum_{F=1}^{n_F} \sum_{S=1}^{n_S} m_{S,F} * T_{S,F} / \sum_{S=1}^{n_{Zielstoffe}} m_{S,F}
 \end{aligned}$$

Abb. 3: Berechnungsmodell zur Berechnung der theoretischen, technischen und realen Recyclingfähigkeit von EAG

### Schlussfolgerungen

Das beschriebene Modell ermöglicht die Berechnung der realen Recyclingfähigkeit von EAG in Österreich zum Zeitpunkt des Inverkehrsetzens. Aktuelle Methoden, welche in vielen Fällen nur das Stoffpotential berücksichtigen, werden hierdurch erweitert. Essenziell ist das Vorhandensein eines Produktpasses, welcher die Zusammensetzung, die Komponenten sowie die Verbindungscharakteristik angibt. Durch Berechnung der realen Recyclingfähigkeit ist diese als Bewertungsgröße für Produkte zugänglich. Die Einsatzmöglichkeiten sind beispielsweise Gütesiegel, die Vermarktung oder die Ökomodulation von Lizenzbeiträgen. Das Schaffen eines ökonomischen Anreizes für Produzenten, ein Design-for-Recycling zu fördern und die Recyclingfähigkeit von Produkten zu erhöhen, trägt zum Schließen von Materialkreisläufen bei. Studien zeigen den Einfluss der Abfallwirtschaft auf die Reduktion von Treibhausgasen, vor allem bei Optimierung des Designs auf die Entsorgung. Anreize zum Design-for-Recycling, wie die mittels Recyclingfähigkeit ökomodulierten Lizenzbeiträge, sind hierfür essenziell, was ein ganzheitliches Berechnungsmodell, unter Einbeziehung realer abfallwirtschaftlicher Prozesse, obligatorisch macht.

Kontaktperson zum Poster:

Erich Kodon

Telefonnummer: +43 681 10331732

E-Mail: erich.kodon@outlook.com

